

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В САПРТП ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Смолин В.Д.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одним из направлений автоматизации современного производства является разработка и внедрение САПР ТП, одним из существенных блоков которой является автоматический выбор оптимального режима резания. Определение оптимального или наивыгоднейшего режима резания - основная задача теории резания материалов. Это сложная и многогранная задача, которая не решена до конца к настоящему времени. Решение ее сводится к определению области допустимых значений параметров режима резания и нахождению в ней точки, удовлетворяющей требованиям выбранной целевой функции. Границы области допустимых значений определяет набор технологических ограничений для рассматриваемой токарной операции. В качестве целевой функции выбирается наибольшая производительность обработки, наименьшая себестоимость операции или какой-либо критерий качества обработанной поверхности. Основным препятствием к получению корректного решения режимной задачи является несовершенство математической модели, описывающей конкретную систему СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь). Поэтому в производственных условиях довольно часто бывают нарекания на расчетные значения параметров режима резания, так как от них зависит заработок станочника. Конфликтная ситуация обычно разрешается обращением к нормативам по режимам резания, которые являются табличной формой математической модели для усредненной системы СПИД. Поэтому в настоящее время за базу режимной САПР целесообразно взять данные из нормативов режимов резания, несмотря на присущие им недостатки.

Использование больших по объему данных из нормативов режимов резания для решения в САПР ТП режимной задачи стало возможным с появлением ЭТ(электронных таблиц, например, SuperCalc, Lotus, Excel) и мощных ПК(персональных компьютеров).

Формулирование режимной задачи состоит в принятии критерия оптимальности и системы технологических ограничений. В принятой математической модели за критерий принят $MAX(n \cdot S)$, где n -

частота вращения шпинделя; S - величина подачи. Функция $f = n \cdot S$ не имеет оптимума, поэтому решение (t, S, V) , где V - скорость резания, лишь условно можно назвать оптимальным. Оно соответствует наименьшему машинному времени, затраченному на переход, или наименьшему объему срезанного материала заготовки. В качестве технологических ограничений принято: $n > n_{\text{стmin}}$; $n < n_{\text{стmax}}$; $S > S_{\text{стmin}}$; $S < S_{\text{стmax}}$; стойкостная зависимость $T-V$, где T - принятая стойкость резца; заданная шероховатость обработанной поверхности. Принятое количество ограничений минимально по сравнению с обычно принимаемым. Однако, и в этой постановке задача относится к классу переопределенных, т.е. число уравнений в модели превышает число неизвестных. Расчет режима резания для токарного перехода должен производиться при минимуме исходной информации и с качеством результата не ниже, чем при ручном способе. Но качество результата, под которым понимается соответствие результата нормативной документации и технологическим требованиям, зависит от количества исходных данных. В алгоритме решения предусмотрены процедуры выбора нужной информации из специально разработанных баз данных.

Основные исходные данные для машинного расчета следующие: D_1 - диаметр обрабатываемой поверхности; d - диаметр обработанной поверхности; L_z - длина заготовки; L - длина обрабатываемой поверхности; t - глубина резания; класс шероховатости или высота неровностей профиля по десяти точкам R_z , или среднее арифметическое отклонение профиля R_a ; марка материала заготовки; марка станка. Алгоритм предусматривает корректировку геометрических параметров резца: ϕ и ϕ_1 - углы в плане; γ и γ_1 - передние углы; α и α_1 ; λ и λ_1 ; r - радиус при вершине; h_z - величина износа по задней поверхности. При работе блока в автономном режиме перечисленные данные вводятся вручную. При работе совместно с САПР ТП эти данные выбираются из соответствующих баз САПР ТП (например, из «Ведомости исходных данных» для САПР ТП, разработанной в НПО «Кислородмаш»).

После занесения исходных данных (в таблицу SuperCalc 4), дальнейший расчет выполняется автоматически. Реализация алгоритма схематично представлена на блок-схеме программного модуля. Расчет оптимального режима резания выполняется в следующей последовательности.

В макросе (блоке) \b осуществляется очистка ЭТ от промежуточных результатов предыдущего расчета и подготовка макроса (командного файла) в работоспособное состояние. Затем по марке обрабатываемого материала (например, 15X5M) выбирается: код заготовки, код группы материала, σ_B - предел прочности, ГОСТ, Е-модуль упругости, аббревиатура старой марки (например, ЭЯ1Т), рекомендуемый материал режущей части резца (например, Т15К6), код материала режущей части резца, коэффициенты и показатели степени в зависимости S- R_z :

$$S \leq C_s \cdot R_z^y \cdot t^p \cdot \gamma^{0,3} \cdot \alpha^{0,25} \cdot K_s / t^x \cdot (\Phi \cdot \Phi_1)^z \cdot h_3^{0,2},$$

где K_s -поправочный коэффициент, зависящий от группы материала детали (ГМ).

В данном блоке рассматриваются материалы заготовки, преимущественно используемые в авиапромышленности. Поэтому за основу классификации их по обрабатываемости положен вариант, предложенный Гуревичем Я. Л.. Все материалы разделены на 12 групп. Каждой группе присвоен свой код. В первой группе теплостойкие хромистые стали (типичный представитель 15X5M), во второй - коррозионно-стойкие стали типа 20X13, в третьей стали типа 12X18H10T, в 4-й типа 45X14H14B2M, в 5-й сплавы типа ХН77ТЮР, в 6-й сплавы типа ЖС6-К, 7-я-сплавы на титановой основе, 8-я-высокопрочные стали, 9-я-алюминиевые сплавы (АК8), 10-я- медные сплавы (Л68), 11-я-углеродистые стали (ст 45) и 12-я-чугуны типа СЧ-21. Для выборки дополнительных данных использован командный файл:

//DIA25:R100~ Задание области базы данных (БД) по материалам.

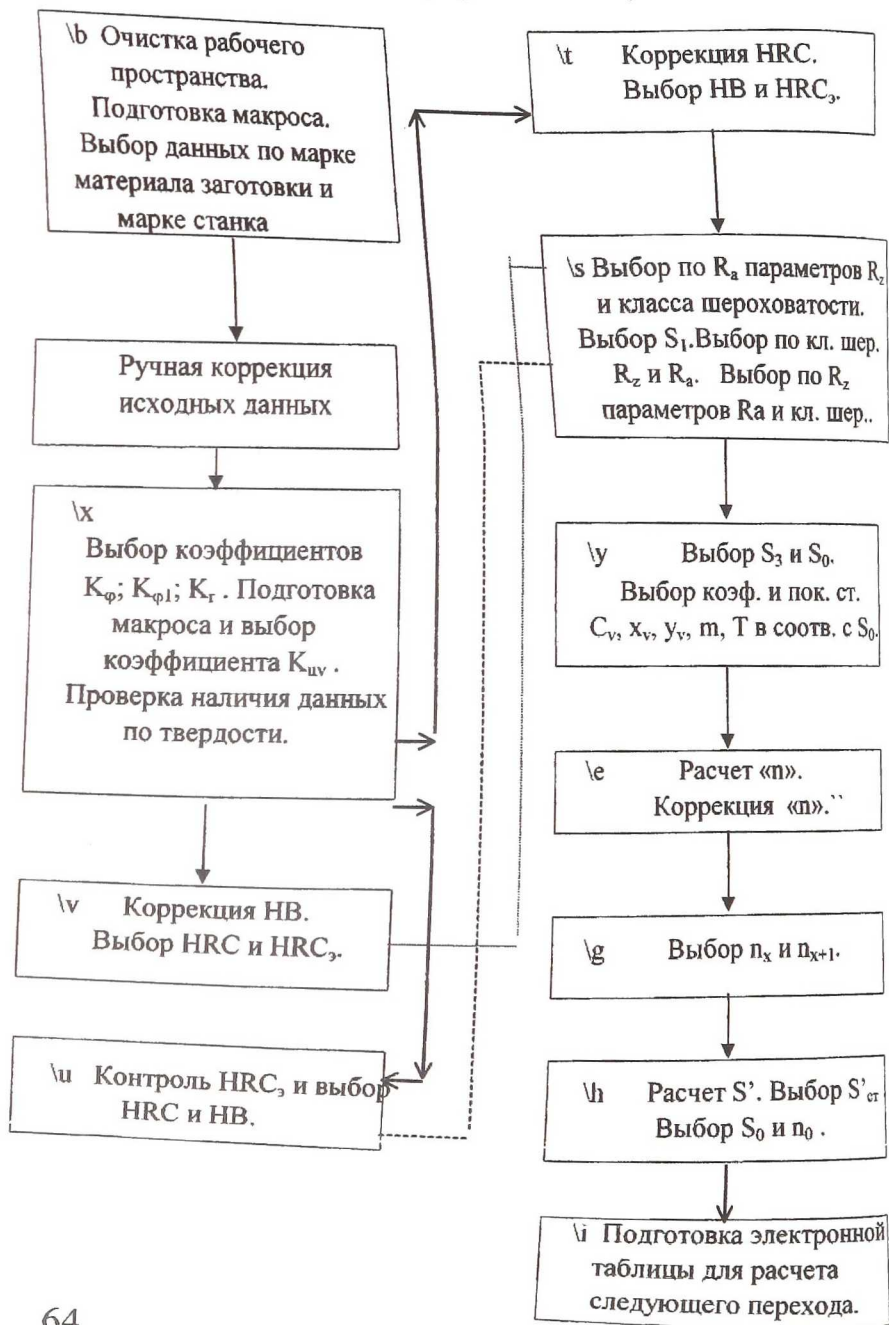
//DOA4:R6~ Задание блока вывода в ЭТ.

//DCA10:A11~ Задание критерия (например, марка 15X5M).

//DE~ Выборка данных по марке материала.

Использованный прием программирования позволяет готовить макрос к работе, не прерывая работы всей программы; выводить строку с маркой материала или каким-либо другим критерием в место ЭТ с известными координатами, что дает возможность использовать практически неограниченное количество дополнительных исходных данных, находящихся в БД. Данное обстоятельство дает возможность нарастить математическую модель ограничением по качеству обработанной поверхности, которое требует большого числа дополнительных исходных данных для расчета.

Блок-схема программного модуля



По марке станка (например, ДИП20-М) выбирается ряд продольных подач станка ($S_{\text{прод}}$), ряд частот вращения шпинделя (n), ряд поперечных подач ($S_{\text{поп}}$), высота державки резца (H), предельное усилие на механизм подач (Q), код обработки (наружная токарная-1,0, расточка-1,1,...); высота центров станка ($H_{\text{ц}}$), мощность электродвигателя ($N_{\text{зд}}$). Процедура выбора этих параметров аналогична выше рассмотренной. Этот перечень может быть дополнен данными, необходимыми для включения в математическую модель технологического ограничения по точности, без которого рассматриваемый режимный блок далек от совершенства.

В алгоритме решения режимной задачи использованы нормативная стойкостная зависимость $T-V$: $V \leq C_v \cdot K_v / T^m \cdot t^{xy} \cdot S^{yv}$ и силовые зависимости:

$P_z = C_{pz} \cdot t^{xyz} \cdot S^{yz} \cdot V^{nz} \cdot K_{pz}$; $P_y = C_{py} \cdot t^{xy} \cdot S^{xy} \cdot V^{ny} \cdot K_{py}$; $P_x = C_{px} \cdot t^{yx} \cdot S^{yx} \cdot V^{nx} \cdot K_{px}$. Специфика нормативного способа решения режимной задачи состоит в определении достаточно большого числа поправочных коэффициентов, входящих в K_v . Это с одной стороны недостаток, так как растет трудоемкость, с другой стороны преимущество, так как возрастает надежность результата.

Первым определяется нормативный поправочный коэффициент на скорость резания K_{ϕ} . Его величина зависит от ГМ, выбранного режущего материала и величины главного угла в плане ϕ . Выбор значения K_{ϕ} осуществляется в два этапа. На первом этапе по ГМ и режущему материалу выбирается нужная строка из БД, а затем используется функция LOOKUP (LU). Функция LU использует значения указателя (в нашем случае это значение ϕ) для поиска клетки ЭТ, содержащей аналогичное значение, в заданной области строки (которая уже выбрана) или столбца. В макросе это предварительно подготовленный программно командный файл {Let O7 LU(F9, A13:G13)}, где O7- клетка (ячейка ЭТ), в которую выбирается K_{ϕ} ; в F9 находится значение ϕ , A13:G13 строка, содержащая нормативные значения ϕ от 10° до 90° . В строке A13:G13 по указателю (ϕ) ищется равное или меньшее значение ϕ и выбирается значение K_{ϕ} , находящееся под ним.

Затем аналогично производится выбор коэффициента $K_{\phi 1}$, где $\phi 1$ - вспомогательный угол в плане.

Выбор коэффициента K_r происходит по ГМ, коду материала режущей части и принятого значения радиуса округления режущей кромки r . Диапазон изменения r от 0,5 до 5,0 мм. Выбор реализован через функцию LU.

Таким же образом по марке материала резца определяется поправочный коэффициент K_{uv} . В программе задействованы только три вида режущих материалов: быстрорежущие стали, твердые сплавы группы ВК и группы ТК.

Для выбора поправочного коэффициента на скорость резания, учитывающего прочность материала заготовки и его твердость, необходимо иметь значения σ_B , HRC₂, HB и HRC. Технологи, обслуживающие САПР ТП, в лучшем случае включают в число обязательных данных одну из этих величин. Это обстоятельство должно быть учтено программно. Здесь может быть несколько вариантов. Первый - ничего не занесено в исходные данные. Здесь σ_B принимается по марке материала, по зависимости $\sigma_B = 0,4HB - 22$ (для углеродистых сталей) или $\sigma_B = 0,35HB$ (для легированных сталей) вычисляется HB. Используя справочные данные, по HB определяются HRC и HRC₂. 2-й случай: задано σ_B . Недостающие параметры определяются как в 1-м варианте. 3-й вариант: задано HB. По нему ищется HRC и HRC₂. 4-й случай: введено HRC, по нему находится HB и HRC₂. 5-й вариант - имеется HRC₂. Далее определяются HB и HRC. Во всех рассмотренных вариантах используется функция LU.

Похожая ситуация с заданием в исходных данных параметров шероховатости, т.е. технолог(пользователь) вводит либо класс шероховатости, либо значение R_a , либо величину R_z . Поэтому в программе предусмотрены три варианта. Первый по классу шероховатости определяется R_a и R_z , 2-й - по R_a находится R_z и класс, 3-й - по R_z выбираются R_a и класс шероховатости. На этом подготовительная часть режимной задачи заканчивается.

По сечению державки резца (H^*B), диаметру заготовки (D_1) и глубине резания (t) выбирается подача S_1 (технологическое ограничение по прочности резца). По формуле $S = R_z$ вычисляется подача S_2 (ограничение по шероховатости). Ограничения по допустимой осевой

нагрузке, по крутящему моменту на шпинделе и другие не включены в алгоритм, чтобы не перегружать программу. Значения S_1 и S_3 сравниваются и выбирается меньшая подача (S_0). Считаем, что скорректированная по станку S_0 это наибольшая технологически допустимая подача.

Коэффициенты и показатели степени в стойкостной зависимости $T - V$ различны в различных диапазонах изменения S . Поэтому в каждой ГМ выделены три диапазона изменения подачи:

$$S \leq 0,06 \text{ мм/об}; 0,07 \leq S \leq 0,2; S \leq 0,2 \text{ мм/об}.$$

По ГМ, пределу прочности σ_B и марке материала резца находятся коэффициенты и показатели степени в стойкостной и силовых зависимостях ($C_v, x_v, \dots, y_{px}, n_x$), а также диапазоны изменения параметров: $t, S, V, T (t_{\min}, t_{\max}, \dots, T_{\max})$. Эти показатели выбираются из массива БД, соответствующего диапазону $0,07 \leq S \leq 0,2$. Если полученная в результате расчета подача ($S_{\text{расч}}$) будет находиться вне этого интервала, то показатели обрабатываемости следует выбрать вновь в соответствии с величиной $S_{\text{расч}}$, после чего $S_{\text{расч}}$ просчитывается вновь. По величине $S_{\text{расч}}$ выбирается ближайшая меньшая подача из ряда $S_{\text{прод}}$ станка S_0 .

Далее по зависимости $T - V$ рассчитывается скорость резания V и частота вращения шпинделя n , которые соответственно корректируются. Затем из ряда станочных n выбираются границы диапазона, (n_x, n_{x+1}) в который попала расчетная n . По величине n_{x+1} и стойкостной зависимости рассчитывается значение S' и выбирается из ряда $S_{\text{прод}}$ станка ближайшее меньшее значение ($S'_{\text{ст}}$). Производится сравнение произведений $n_x \cdot S_0$ и $n_{x+1} \cdot S'_{\text{ст}}$. Большее из них дает пару параметров наиболее выгодного режима резания.

Описанный выше алгоритм решения режимной задачи существенно упрощен по сравнению с традиционной методикой определения режима резания по нормативам. Опущены ряд технологических ограничений, взята простейшая целевая функция и т.п. Это сделано с целью доведения машинного решения до конца, освоив при этом основные машинные процедуры реализации алгоритма.